

# 基于云重心理论的舰艇部队作战油料保障能力评估<sup>①</sup>

陆思锡, 周庆忠, 熊 彪

(后勤工程学院, 重庆 401311)

**摘 要:** 为评估舰艇部队作战油料保障能力, 根据舰艇部队作战油料保障特点和相关要求, 从油料储存能力、油料运输能力、油料补给能力、快速反应能力、组织筹划能力、抢修抢险能力 6 个方面构建了评估指标体系, 采用云重心理论建立了舰艇部队作战油料保障能力评估模型, 并结合实例对模型进行了验证. 结果表明, 该方法能有效融合主客观信息, 解决评估过程中定性与定量间的不确定性转换, 减少评估过程中模糊性和随机性的影响, 提高舰艇部队作战油料保障决策的科学性.

**关键词:** 云重心理论; 评估; 加权偏离度; 舰艇部队; 油料保障能力

## Evaluation of POL Support Ability of Naval Vessel Unit Campaigning Based on Cloud Barycenter Theory

LU Si-Xi, ZHOU Qing-Zhong, XIONG Biao

(Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China)

**Abstract:** In order to evaluate POL (Petrol-Oil and Lubricants) support ability of naval vessel unit campaigning, evaluation indexes system is built from 6 aspects: the ability of POL storage, POL transportation, POL replenishment, response, organizing, repair and emergency disposal based on POL support characteristic and correlative demands of naval vessel unit campaigning. The cloud barycenter theory is adopted to build evaluation model of POL support ability of naval vessel unit campaigning, and the model is validated by analyzing an example. The result indicates that the method based on cloud barycenter theory can syncretize subjective and impersonal information effectively and solve the uncertainty transition between qualitative and quantitative problem in the evaluation, which reduces the impacts that fuzziness and randomness have in evaluation and improves the scientificity of POL support decision-making of naval vessel unit campaigning.

**Key words:** cloud barycenter theory; evaluation; the weighted deviation degree; naval vessel unit; POL support ability

舰艇部队作战油料保障能力评估是对与舰艇部队油料保障相关的保障力量满足舰艇部队作战油料保障需求的程度的评价, 是油料保障决策的重要依据. 通过对油料保障能力进行评估, 可以使油料保障决策人员从整体上把握油料保障力量完成对舰艇部队作战油料保障任务的可能性, 并及时发现油料保障在准备过程中的不足之处, 以便尽快完善和弥补, 从而提高作战油料保障效率. 因此, 评估舰艇部队作战油料保障能力, 对油料保障决策人员正确制定决策方案和配置油料保障力量具有重要作用.

目前用于油料保障能力评估的方法主要有模糊综合评价法、灰色聚类评价法、物元法等<sup>[1,2]</sup>. 其中, 模糊综合评价法需要构造隶属度函数, 若隶属度函数构造不准确将对评估结果产生很大影响; 灰色聚类评价法的评估对象是灰色系统, 主要针对聚类分析的问题进行评估; 物元法主要针对多个评估对象油料保障能力的评估, 一般不适用于舰艇部队作战油料保障能力评估这样的单个对象评估. 舰艇部队作战油料保障能力评估涉及的影响因素多、信息不对称, 加之战场环境的作用, 使评估过程具有明显的不确定性, 而上述

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-12-10;收到修改稿时间:2013-01-04

评估方法在处理舰艇部队作战油料保障中的随机性和模糊性方面有一定的缺陷. 云重心理论则为解决评估中的不确定性问题提供了一种方法, 能够实现定性与定量间的不确定性转换<sup>[3-5]</sup>. 因此, 本文利用云重心理论将定性指标以云的方式表达出来, 实现舰艇部队作战油料保障能力的综合评估, 以解决油料保障能力评估中的不确定性问题.

### 1 评估指标体系

根据舰艇部队作战油料保障特点以及相关要求和规定, 结合油料保障环节和油料保障要素, 拟制了初步的评估指标体系. 针对拟制的初步指标体系, 选择了 9 位油料勤务专家进行咨询, 经过充分论证和多次修改, 最后形成了如图 1 所示的各位专家都比较认同的指标体系.

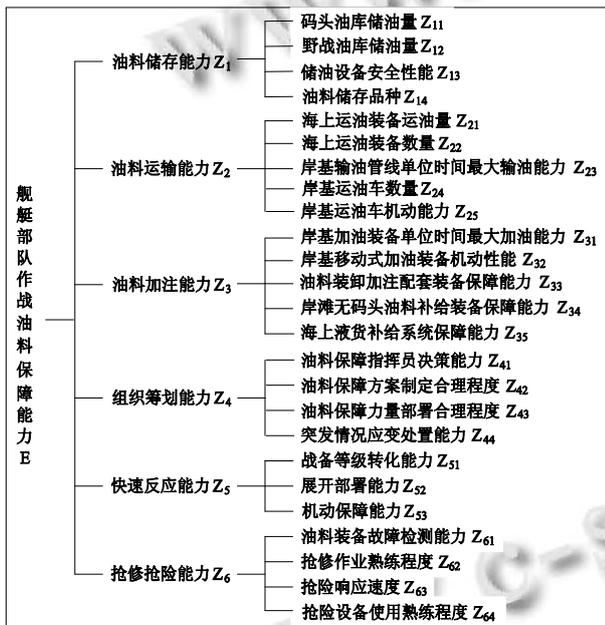


图 1 舰艇部队作战油料保障能力评估指标体系

该指标体系包含六个一级指标, 即油料储存能力、油料运输能力、油料补给能力、快速反应能力、组织筹划能力、抢修抢险能力. 油料储存能力指标主要由码头油库储油量、野战油库储油量、储油设备安全性能、油料储存品种四方面的二级指标构成. 油料储存能力指标涵盖了码头油库、野战油库储油量, 以及储油品种和储油设备安全性能等方面的内容. 油料运输能力二级指标主要从海上和岸基油料运输装备运油能力以及输油管线输油能力等方面来考虑. 对油料

补给能力二级指标的构建考虑了岸基加油装备及配套装备、岸滩无码头油料补给装备、海上液货补给系统保障能力等方面的内容<sup>[1]</sup>. 此外, 针对油料保障指挥员决策能力、油料保障方案制定情况、油料保障力量部署情况、战备等级转化、机动保障、抢修抢险等内容构建了组织筹划能力、快速反应能力和抢修抢险能力等方面的指标.

### 2 评估模型

#### 2.1 云重心理论

云重心理论是基于模糊集理论和概率统计理论发展起来的一种能够反映概念模糊性和随机性的软边缘理论, 它能够用自然语言值表示某个定性概念与其定量表示之间的不确定性转换模型, 可有效避免评估的随机性<sup>[5,6]</sup>. 为了真实反映舰艇部队作战油料保障工作中的不确定性, 更好地实现定性指标的定量转换, 避免随机性和模糊性对评估结果的影响, 本文采用云重心理论对舰艇部队作战油料保障能力进行评估.

设  $V$  是 1 个用精确数值表示的论域,  $V$  中对应的定性概念为  $A$ , 则  $V$  对于论域中的任意元素  $v$ , 都存在 1 个有稳定倾向的随机数  $y = \mu_A(v)$ , 称为  $\mu$  对  $A$  的隶属度,  $v$  在论域上的分布称为隶属云, 简称云. 云的数字特征用期望值  $E_x$ 、熵  $E_n$  和超熵  $H_e$  3 个数值表征, 它们将模糊性和随机性进行集成, 形成定性和定量相互间的映射. 其中,  $E_x$  是云的重心位置, 表示相应的模糊概念的期望值;  $E_n$  是概念模糊程度的度量, 其大小反映了在论域中可被模糊概念接受的元素数量, 熵越大, 概念模糊度所接受的数值范围也越大, 概念相对越模糊;  $H_e$  是云厚度的度量, 是整个云厚度的最大值, 反映了云的离散程度<sup>[6,7]</sup>. 图 2 显示了云理论的 3 个数值特征.

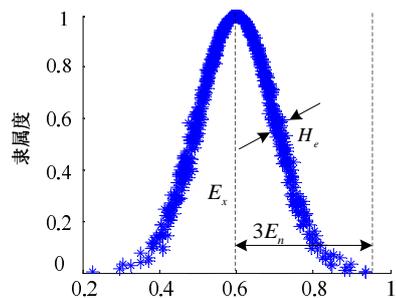


图 2 隶属云的数值特征

云重心可用  $T = a \times b$  来表示, 其中  $a$  表示云重心的位置,  $b$  表示云重心的高度. 期望值反映相应的模糊概念的信息中心值, 即云重心位置. 期望值变化时, 其所代表的信息中心值随之变化, 云重心的位置也相应改变. 当期望值相同时, 可通过比较云重心高度的不同来区分它们的重要性.

## 2.2 评估模型的建立

### 2.2.1 求各指标的云模型数字特征

在舰艇部队作战油料保障能力评估指标体系中, 既有用数值型表示的, 又有用语言值进行描述的. 提取组相关数据指标, 组成决策矩阵, 则个数值型表示的 1 个指标可用 1 个云模型来表示. 其中, 和可由式(1)和式(2)求得<sup>[5-7]</sup>:

$$E_x = \frac{1}{n}(E_{x1} + E_{x2} + \dots + E_{xn}) \quad (1)$$

$$E_n = \frac{1}{6}(\max(E_{x1}, E_{x2}, \dots, E_{xn}) - \min(E_{x1}, E_{x2}, \dots, E_{xn})) \quad (2)$$

每个语言值型指标也可用一个云模型来表示, 则  $n$  个语言值表示的 1 个评估指标就可用 1 个一维综合云来表示. 其中,  $E_x$  和  $E_n$  可由式(3)和式(4)求得<sup>[5-7]</sup>:

$$E_x = \frac{E_{x1}E_{n1} + E_{x2}E_{n2} + \dots + E_{xn}E_{nm}}{E_{n1} + E_{n2} + \dots + E_{nm}} \quad (3)$$

$$E_n = E_{n1} + E_{n2} + \dots + E_{nm} \quad (4)$$

上述各式中, 当指标为数值时,  $E_{xi}$  为各指标的量值; 当指标为语言值时,  $E_{xi}$  为各指标的期望;  $E_{ni}$  为各指标云模型的熵;

### 2.2.2 求平价指标的系统状态表示

从上述可知, 1 个评估指标可用 1 个一维综合云来表示, 则  $m$  个指标所反映的系统状态可用 1 个  $m$  维综合云来表示. 当  $m$  个指标所反映的系统状态发生变化时,  $m$  维综合云的形状也发生变化, 其重心也随之改变. 用 1 个  $m$  维向量来表示  $m$  维综合云的重心,  $G = (G_1, G_2, \dots, G_m)$  则  $G_i = a_i \times b_i, (i = 1, 2, \dots, m)$ .

### 2.2.3 衡量云重心偏离度

设理想状态下维综合云的重心位置向量  $a = (E_{x1}^0, E_{x2}^0, \dots, E_{xm}^0)$ , 云重心高度向量  $b = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ , 其中,  $w_i$  为对应指标权重, 可采用层次分析法求出. 因此, 可将理想状态下的云重心向量表示为  $G^0 = a \times b^T = (G_1^0, G_2^0, \dots, G_m^0)$ . 将某一状态下的  $m$  维综合云重心向量表示为  $G = (G_1, G_2, \dots, G_m)$ , 对其进行归一化处理, 得到新的向量  $G' = (G'_1, G'_2, \dots, G'_m)$ . 新向量  $G'$  中的

$G'_i$  可由式(5)确定<sup>[6,7]</sup>:

$$G'_i = \begin{cases} (G_i - G_i^0)/G_i^0, & G_i < G_i^0, i = 1, 2, \dots, m \\ (G_i - G_i^0)/G_i, & G_i \geq G_i^0, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (5)$$

将各指标归一化后的向量值  $G'_i$  乘以其权重值  $w_i$ , 然后再相加, 即得到加权偏离度  $\delta_i (0 \leq \delta_i \leq 1)$ :

$$\delta_i = \sum_{i=1}^m w_i G'_i \quad (6)$$

这样, 就可以用加权偏离度  $\delta_i$  来衡量某一状态下  $m$  维综合云重心与理想状态下云重心的差异情况,  $\delta_i$  值越小, 说明与理想状态越接近.

### 2.2.4 确定评语集

采用具有 11 个评语组成的评语集  $U = (u_1, u_2, \dots, u_{11}) = (\text{无, 非常差, 很差, 较差, 差, 一般, 好, 较好, 很好, 非常好, 极好})$ , 将其置于连续的语言值标尺上, 并用云模型来实现每个评语值, 生成一个云发生器<sup>[8,9]</sup>, 如图 3 所示.

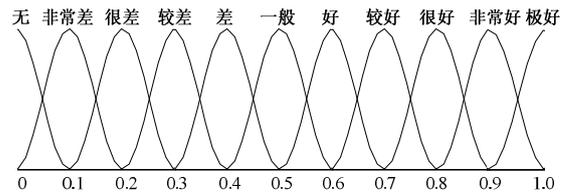


图 3 云发生器

将计算得到的  $\delta$  值输入云发生器, 若对应某个评语值云对象的程度远大于其它评语值, 则可将该评语值作为评估结果; 若对应两个评语值的云对象, 且靠近这两个评语值的程度相差不大, 则需运用综合云的原理, 产生一个新的云对象, 并将其期望值作为评估结果<sup>[6,7]</sup>. 例如, 对于“油料补给能力”这一指标, 若得到的结果为 0.82, 则可以理解为该指标达到了“很好”这一程度; 若得到的结果为 0.85, 介于“很好”与“非常好”之间, 则需根据期望值得到评估结果.

### 2.2.5 计算综合评价值

首先根据得到的各二级指标加权偏离度  $\delta_i$ , 计算各一级指标评估值:

$$e_i = 1 - |\delta_i| \quad (7)$$

然后根据一级指标评估值和权重, 计算舰艇部队作战油料保障能力的综合评估值  $E$ :

$$E = \sum_{i=1}^6 w_i e_i \quad (8)$$

### 3 实例分析

#### 3.1 分析过程及评估结果

以某舰艇部队参加海上演习时的油料保障为例,按照图 1 构建的舰艇部队作战油料保障能力评估指标

体系对该次演习油料保障能力进行评估. 对于指标属性值的确定, 采用由 4 位专家按照 1 分制打分的方法得到. 各二级指标的属性值如表 1 所示.

表 1 舰艇部队作战油料保障能力评估二级指标属性

状态	Z <sub>11</sub>	Z <sub>12</sub>	Z <sub>13</sub>	Z <sub>14</sub>	Z <sub>21</sub>	Z <sub>22</sub>	Z <sub>23</sub>	Z <sub>24</sub>	Z <sub>25</sub>	Z <sub>31</sub>	Z <sub>32</sub>	Z <sub>33</sub>	Z <sub>34</sub>
1	0.7	0.7	0.6	0.8	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7
2	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6
3	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.8	0.6	0.5	0.5
4	0.7	0.5	0.4	0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7

状态	Z <sub>35</sub>	Z <sub>41</sub>	Z <sub>42</sub>	Z <sub>43</sub>	Z <sub>44</sub>	Z <sub>51</sub>	Z <sub>52</sub>	Z <sub>53</sub>	Z <sub>61</sub>	Z <sub>62</sub>	Z <sub>63</sub>	Z <sub>64</sub>
1	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6
2	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7
3	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5
4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6

根据表 1 中各二级评估指标的属性值, 得到决策矩阵 B, 然后可根据式(1)和式(2) 按照决策矩阵 B 中

的属性值计算得到舰艇部队作战油料保障能力评估二级指标的期望值如表 2 所示.

$$B = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.8 & 0.7 & 0.7 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.5 \\ 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.7 & 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.6 \end{bmatrix}$$

表 2 舰艇作战油料保障能力评估二级指标期望值

指标	Z <sub>11</sub>	Z <sub>12</sub>	Z <sub>13</sub>	Z <sub>14</sub>	Z <sub>21</sub>	Z <sub>22</sub>	Z <sub>23</sub>	Z <sub>24</sub>	Z <sub>25</sub>	Z <sub>31</sub>	Z <sub>32</sub>	Z <sub>33</sub>	Z <sub>34</sub>
E <sub>1</sub>	0.7	0.6	0.55	0.725	0.6	0.5	0.55	0.6	0.475	0.65	0.55	0.6	0.625

指标	Z <sub>35</sub>	Z <sub>41</sub>	Z <sub>42</sub>	Z <sub>43</sub>	Z <sub>44</sub>	Z <sub>51</sub>	Z <sub>52</sub>	Z <sub>53</sub>	Z <sub>61</sub>	Z <sub>62</sub>	Z <sub>63</sub>	Z <sub>64</sub>
E <sub>2</sub>	0.625	0.6	0.6	0.625	0.575	0.6	0.575	0.625	0.55	0.6	0.575	0.6

由于二级指标属性值取值范围为[0,1], 可以得到理想状态向量值均为 1.

利用层次分析法求得一级指标权重为:

$$w_1 = [0.206 \quad 0.173 \quad 0.218 \quad 0.133 \quad 0.167 \quad 0.103]$$

二级指标权重为:

$$w_{21} = [0.360 \quad 0.327 \quad 0.180 \quad 0.133]$$

$$w_{22} = [0.351 \quad 0.176 \quad 0.227 \quad 0.133 \quad 0.113]$$

$$w_{23} = [0.298 \quad 0.133 \quad 0.127 \quad 0.216 \quad 0.226]$$

$$w_{24} = [0.275 \quad 0.325 \quad 0.217 \quad 0.183]$$

$$w_{25} = [0.281 \quad 0.233 \quad 0.486]$$

$$w_{26} = [0.216 \quad 0.327 \quad 0.318 \quad 0.139]$$

对于一级指标, 可以用影响其能力的二级指标构成的加权综合云表示, 根据 G<sup>0</sup> 的计算公式可得到各一级指标在理想状态条件下加权综合云重心向量以及实际综合云的重心向量分别为:

$$G_1^0 = [0.360 \quad 0.327 \quad 0.180 \quad 0.133]$$

$$G_1 = [0.252 \quad 0.196 \quad 0.099 \quad 0.096]$$

$$G_2^0 = [0.351 \quad 0.176 \quad 0.227 \quad 0.133 \quad 0.113]$$

$$G_2 = [0.210 \quad 0.088 \quad 0.125 \quad 0.080 \quad 0.054]$$

$$G_3^0 = [0.298 \quad 0.133 \quad 0.127 \quad 0.216 \quad 0.226]$$

$$G_3 = [0.194 \quad 0.073 \quad 0.076 \quad 0.135 \quad 0.141]$$

$$G_4^0 = [0.275 \quad 0.325 \quad 0.217 \quad 0.183]$$

$$G_4 = [0.165 \quad 0.195 \quad 0.136 \quad 0.105]$$

$$G_5^0 = [0.281 \quad 0.233 \quad 0.486]$$

$$G_5 = [0.169 \quad 0.134 \quad 0.304]$$

$$G_6^0 = [0.216 \quad 0.327 \quad 0.318 \quad 0.139]$$

$$G_6 = [0.119 \quad 0.196 \quad 0.183 \quad 0.083]$$

按照式(5)对实际综合云重心向量进行变换:

$$G_1' = [-0.30 \quad -0.401 \quad -0.450 \quad -0.278]$$

$$G_2' = [-0.402 \quad -0.50 \quad -0.449 \quad -0.398 \quad -0.522]$$

$$G_3' = [-0.349 \quad -0.451 \quad -0.402 \quad -0.375 \quad -0.376]$$

$$G_4' = [-0.40 \quad -0.40 \quad -0.373 \quad -0.426]$$

$$G_5' = [-0.399 \quad -0.425 \quad -0.374]$$

$$G_6' = [-0.449 \quad -0.401 \quad -0.425 \quad -0.403]$$

根据式(6)得到一级指标偏离度:

$$\delta_1 = -0.357, \delta_2 = -0.433, \delta_3 = -0.381,$$

$$\delta_4 = -0.399, \delta_5 = -0.393, \delta_6 = -0.419.$$

将上述偏离度值输入到云发生器, 可得到各一级指标评估结果. 其中, 油料储存能力、油料补给能力组织筹划能力和快速反应能力都评估结果为好, 油料运输能力和抢修抢险能力为好但偏向于一般.

同时, 根据式(7)可求出一级指标评估值:

$$e_1 = 0.643, e_2 = 0.557, e_3 = 0.619,$$

$$e_4 = 0.601, e_5 = 0.607, e_6 = 0.581.$$

根据式(8)得到油料保障能力综合评估值:

$$E = 0.605$$

从上述分析可以看出, 该舰艇部队参加演习的油料保障能力总体评估结果为好, 但是还需要从油料储存能力、油料补给能力、油料运输能力、组织筹划能力、快速反应能力以及抢修抢险能力各单项能力上进行提高, 尤其是油料运输能力和抢修抢险能力需要重点提高, 从而使舰艇部队作战油料保障能力得到整体跃升, 以便更好地满足舰艇部队作战需要.

### 3.2 与模糊综合评价法评估结果的对比

按照图 1 构建的评估指标体系, 采用模糊综合评价法对上述问题进行评估, 根据该评估方法的步骤及算法得到舰艇部队作战油料保障能力的综合评估结果为一般. 出现这种评估差异的原因主要是因为模糊综合评价法重点是构造隶属度函数, 但是由于隶属度函数的构造较为复杂, 很难构造出完全适合于舰艇部队作战油料保障能力评估的隶属度函数, 从而影响评估结果的准确性. 而基于云重心理论的评估方法避免了

这些因素的影响, 且能够较好地控制评估中的随机性. 因此, 通过对比可以看出, 基于云重心理论得到的评估结果更能真实地反映舰艇部队作战油料保障能力.

## 4 结语

基于云重心理论的舰艇部队作战油料保障能力评估方法, 有效地融合了主客观信息, 控制了评估过程中的模糊性和随机性. 通过实例验证表明, 将云重心理论应用于舰艇部队作战油料保障能力评估中, 有效解决了评估过程中定性 with 定量间的不确定性转换, 提高了评估的准确性, 为舰艇部队作战油料保障能力的提升提供了科学的参考依据.

## 参考文献

- 1 陆思锡, 周庆忠, 李东华. 基于熵权的岸基油料保障设施设备效能评估. 后勤工程学院学报, 2009, 25(2): 33-35.
- 2 朱柯, 母元江, 黄海波. 油料保障能力评估. 北京: 解放军出版社, 2004: 8.
- 3 李德毅, 杜鹤. 不确定性人工智能. 北京: 国防工业出版社, 2005: 5-9.
- 4 李德毅, 邸凯昌, 李德仁, 史雪梅. 用语言云模型发掘关联规则. 软件学报, 2000, 11(2).
- 5 陈晨, 王强, 王晓恩. 基于云重心评价法的空袭目标威胁程度评估. 计算机测量与控制, 2009, 17(2): 354-355.
- 6 唐克, 张罗政, 魏琪. 基于云重心法评估复杂电磁环境下炮兵信息化作战能力. 运筹与管理, 2008, 17(2): 121-123.
- 7 屈洋, 王要峰, 刘洪坤. 基于云重心理论的数字化装甲团指挥决策时效性评估. 兵工自动化, 2010, 29(6): 30-31.
- 8 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属于和隶属发生器. 计算机研究与发展, 1995, 32(6): 16-21.
- 9 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34.